

Disperzní zdroje v distribučních sítích
Dispersion Source in the Distribution Network

Adam Hostovičák

Bakalářská práce/ Bachelor Thesis

Vedoucí práce/Supervisor: doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký

Ostrava, 2021

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za pomoc a trpělivost při vypracování mé práce. Rovněž bych chtěl poděkovat celé své rodině a přítelkyni za klidné zázemí a podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale během celého studia.

Abstrakt

Práce se zabývá provozem obnovitelných zdrojů v distribuční síti. Nejdříve je popsáno, co je distribuční síť. Dále jsou popsány používané obnovitelné zdroje, fotovoltaika, větrné elektrárny, vodní elektrárny a spalování biomasy. Práce se také věnuje popisu vlivů na síť při připojení OZE k síti. Dále jsou popsány k těmto vlivům příslušné dovolené hodnoty podle pravidel provozování distribučních soustav.

V praktické části práce je ověření výpočtem, zda je možné připojení zdroje k síti.

Abstract

This bachelor thesis deals with the operation of renewable sources in the distribution network. At the beginning is a description what is distribution network in general. There is also a description of used renewable sources, photovoltaics power plants, wind power plants, hydroelectric power plants and biomass combustion. The work dedicates to a description of the effects on the network in the process of connection renewable sources to the network. There are also described the relevant permissible values according to the rules for the operation of distribution systems for these effects.

The practical part of bachelor thesis is about checking the calculations, whether it is possible to connect resources to the network.

Klíčová slova

Vysoké napětí; nízké napětí; obnovitelné zdroje energie; fotovoltaické elektrárny; větrné elektrárny; vodní elektrárny; spalování biomasy; zpětné vlivy; flickr; HDO; změny napětí; limity připojitelnosti; úbytek napětí

Keywords

Hight voltage networks; low voltage networks; renewable source; photovoltaic power plants; wind power plants; hydroelectric power plants; biomass combustion; feedback effect; flicker; mass remote control; voltage changes; limmits of connectivity; voltage drop

Obsah

1. Úvod	9
2. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn	10
3. Obnovitelné zdroje v distribuční síti – druhy, parametry, umístění	13
3.1. Obnovitelné zdroje	13
3.2. Fotovoltaické elektrárny.....	13
3.3. Větrné elektrárny	15
3.4. Vodní elektrárny	18
3.5. Elektrárna na biopaliva.....	20
4. Zpětné vlivy	21
4.1. Podpětí	22
4.2. Přepětí	22
4.3. Flikr	22
4.4. Ovlivnění signálu HDO	22
4.5. Příspěvek ke zkratovým poměrům	23
4.6. Příspěvky k úrovni harmonických proudů	23
5. Limity připojitelnosti	24
5.1. Podmínky pro připojení.....	24
5.2. Zvýšení napětí.....	24
5.3. Změny napětí při spínání	24
5.3.1. Připojování synchronních generátorů	25
5.3.2. Připojování asynchronních generátorů	25
5.3.3. Připojování výroben se střídači	25
5.4. Podmínky pro zpětné vlivy	25
5.4.1. Změny napětí.....	25
5.4.2. Flikr	25
5.4.3. Výrobny v síti nízkého napětí a jejich harmonické	26
5.4.4. Výrobny v síti vysokého napětí a jejich harmonické	27
5.4.5. HDO signál	27
6. Výpočetní příklad - připojení obnovitelného zdroje k síti	29
6.1. Parametry vedení	29
6.2. Vedení napájeno z T1	30
6.2.1. Výpočet vedení bez připojeného OZE	30

6.2.2.	Výpočet vedení s připojeným OZE.....	33
6.3.	Vedení napájeno z T2	35
6.3.1.	Výpočet vedení bez OZE	35
6.3.2.	Výpočet vedení s připojeným OZE.....	38
6.3.3.	Posouzení připojitelnosti OZE do sítě.....	40
7.	Závěr	41
8.	Citace	42

Seznam použitých jednotek

U	Napětí	[V]
I	Proud	[A]
l	Délka	[km]
R	Odpor	[Ω]
X	Reaktance	[Ω]
ΔU	Úbytek napětí	[V]
P	Výkon	[W]
$\cos\varphi$	Učinitík	[-]
d	Průměr	[mm]
f	Frekvence	[Hz]
S	Průřez	[mm ²]
ρ	Hustota	[kg/m]
Q	Průtok	[l/s]
g	Tíhové zrychlení	[$m \cdot s^{-2}$]
H	Spád	[m]
μ	Účinnost	[-]

Seznam použitých zkratek

OZE	Obnovitelný zdroj energie
nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
ČR	Česká republika
T1 (T2)	Transformátor
HDO	Hromadné dálkové ovládání
tan	Tangens

Seznam ilustrací

Obr. 1 Přenosová a distribuční soustava	10
Obr. 2 Paprsková síť	11
Obr. 3 Okružní síť.....	11
Obr. 4 Mřížková síť	11
Obr. 5 Průběžná síť.....	12
Obr. 6 Šíření hluku od větrné elektrárny.....	15
Obr. 7 Schéma větrné elektrárny	17
Obr. 8 Instalovaný výkon v průběhu let v ČR	18
Obr. 9 Průběh zkratového proudu	23
Obr. 10 Schéma s připojeným obnovitelným zdrojem.....	29
Obr. 11 Schéma bez připojeného OZE (T1)	30
Obr. 12 Schéma s připojeným OZE (T1).....	33
Obr. 13 Schéma s připojeným OZE (T2).....	38

Seznam tabulek

Tab. 1 Velké vodní elektrárny.....	20
Tab. 2 Příпустné vztažné proudy.....	26
Tab. 3 Příпустné vztažné proudy.....	27
Tab. 4 Činné a jalové proudy bez OZE (T1).....	31
Tab. 6 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky bez OZE (T1)	31
Tab. 7 Vypočtené R a X pro jednotlivé vzdálenosti (T1).....	31
Tab. 8 Úbytky napětí bez OZE (T1)	32
Tab. 9 Činné a jalové proudy s připojeným OZE (T1)	33
Tab. 10 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky s OZE (T1)	33
Tab. 11 Úbytky napětí s připojeným OZE (T1).....	34
Tab. 12 Schéma bez připojeného OZE (T2)	35
Tab. 13 Činné a jalové proudy bez OZE (T2).....	35
Tab. 14 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky bez OZE (T2)	36
Tab. 15 Vypočtené R a X pro jednotlivé vzdálenosti (T2).....	36
Tab. 16 Úbytky napětí bez OZE (T2)	36
Tab. 17 Činné a jalové proudy s připojeným OZE (T2)	38
Tab. 18 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky s OZE (T2)	38
Tab. 19 Úbytek napětí s OZE (T2)	38

1. Úvod

Na naší planetě je přes 7 miliard lidí a bez elektřiny by si většina lidí nedokázala představit svůj život. Velká poptávka po elektrické energii a zároveň důraz kladený na životní prostředí přivádí vědu ke zdokonalování a hledání nových zdrojů elektrické energie. Doba uhlí je u konce a uhelné elektrárny se začínají uzavírat. Jelikož však tyto elektrárny tvoří základní dodávku elektrické energie, ještě potrvá než dojde k jejich definitivnímu odstavení a nahrazení novými efektivnějšími a ekologičtějšími zdroji. Dnes se počítá především s elektřinou získávanou z jádra uranu a obnovitelných zdrojů. Obnovitelné zdroje jsou zatím na takové úrovni, že nemůžou zcela nahradit stávající zdroje energie, jelikož Slunce nesvítí neustále a vítr stále nefouká. Avšak jsou to zdroje, které by se daly využít jako zásobárna energie pro samotného odběratele, tedy v distribuční síti. Bohužel pokud takovýto obnovitelný zdroj připojíme k distribuční síti, jsou zde zpětné vlivy, které mají neblahý vliv na celkovou síť. Samozřejmě pro připojení k síti jsou dána pravidla, která se musí dodržet, aby nedošlo k zhoršení stavu sítě. Praktickou částí bakalářské práce je za úkol vypočítat připojitelnost OZE k síti.

2. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn

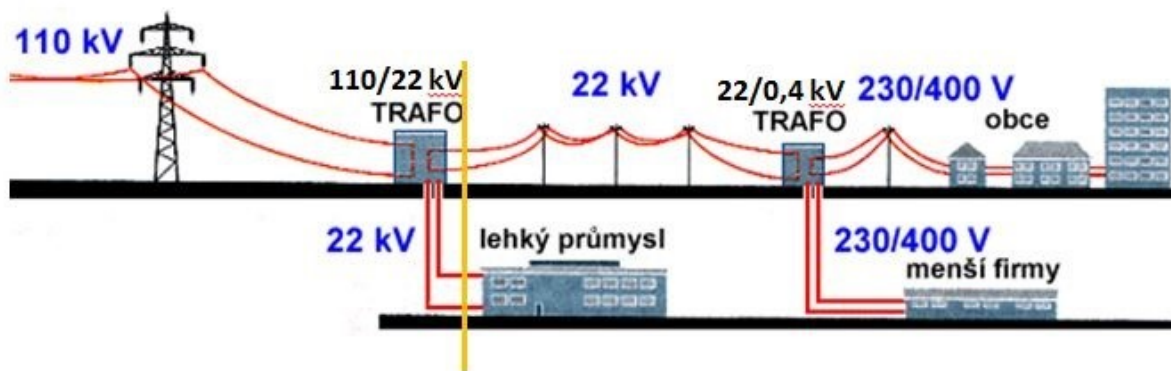
Přenos elektrické energie od elektrárny ke spotřebiteli nám zajišťuje elektrická přenosová a distribuční soustava. Přenos od elektráren, tedy od zdrojů elektrické energie, k velkým rozvodnám se nazývá přenosová soustava. Distribuční soustava zajišťuje dopravu elektrické energie od těchto rozvodnů ke spotřebitelům. [1]

V přenosové soustavě využíváme vysoké napěťové hladiny, jelikož alternátor v elektrárnách pracuje v jednotkách kV, takže proud teče v desítkách kA. Kdybychom se snažili přenést takovou energii, přineslo by to velké ztráty, jelikož se ztráty rovnají druhé mocnině proudu. Rovněž tak i vodiče by musely mít extrémně velké průměry, což by způsobilo problémy s magnetickými silami. U nás se využívají napěťové hladiny 400 kV, 200 kV a 110 kV pro přenosovou soustavu. Nižší napěťové hladiny jsou používány pro distribuční síť. [1]

- Distribuční síť vysokého napětí

Vysoké napětí je označováno pro provoz rozvodu v rozmezí od 1000 do 50 kV. V České republice je napěťová soustava provozována ve 22 kV. Napájecím bodem jsou transformovny 110/22 kV. Vedení je provedeno ve dvou variantách: venkovní nebo kabelové. Primárně se využívá venkovní neboli paprskové vedení. Tento typ vedení slouží k dopravení elektrické energie do měst, obcí nebo průmyslových lokalit. [1]

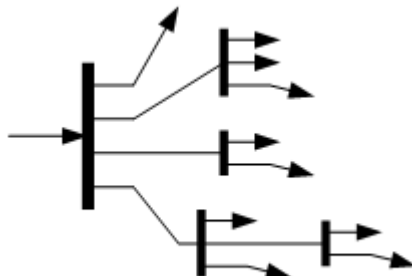
- Distribuční síť nízkého napětí
- Nízké napětí je označováno pro provoz rozvodu v rozmezí od 50 do 1000 V. Slouží k dopravení elektrické energie od transformátorů 22/0,4 kV k odběrateli, tedy obcím a menším firmám.



Obr. 1 Přenosová a distribuční soustava

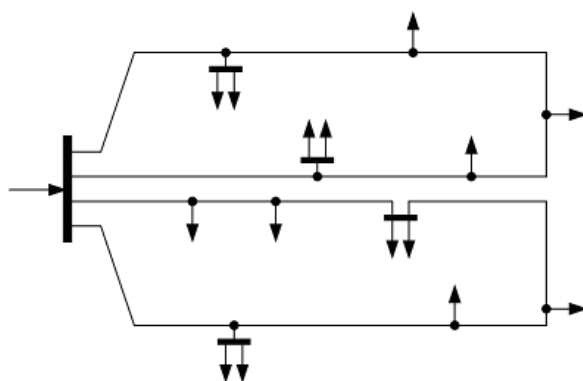
Rozdělení z hlediska vedení:

- Paprskové – Části sítě jsou napájeny zvlášť. Je to nejjednodušší typ zapojení, avšak při poruše dochází k přerušení dodávky elektrické energie. Nacházejí se tam, kde by případný výpadek energie nezpůsobil žádné fatální následky. [2]



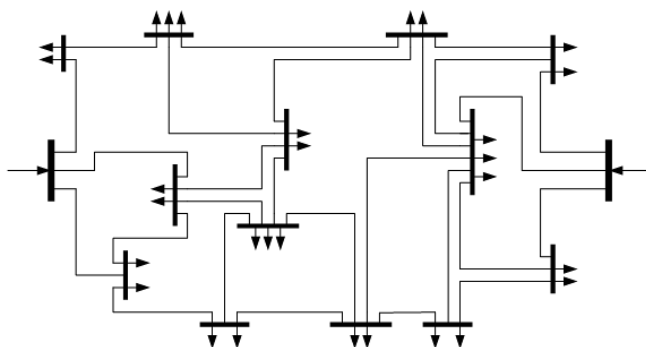
Obr. 2 Paprsková síť

- Okružní – Odběrná místa jsou napájená ze dvou stran, což znamená vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie. Při poruše se poškozená část odpojí a zbytek sítě se provozuje jako paprskové rozvody [2]



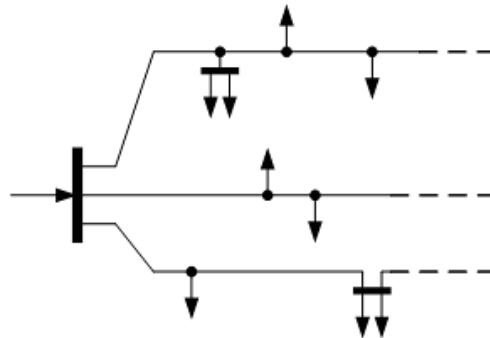
Obr. 3 Okružní síť

- Mřížkové – Nejspolehlivější dodávka elektrické energie, avšak vysoké pořizovací náklady. Většinou se využívají pro husté městské zástavby nebo objekty velkých a rozsáhlých průmyslových závodů. [2]



Obr. 4 Mřížková síť

- Hřebenový rozvod – Tento druh rozvodu je tvořen několika paprsky, které jsou na konci navzájem propojeny. Po trase mohou mít paprsky odbočky pro napájení dalších zařízení. Používán je ve větších průmyslových závodech [2]
- Průběžný rozvod – Spolehlivost tohoto druhu vedení je podobná jako u paprskového, tedy nízká. Používá se u maloodběratelů na vesnicích nebo při osvětlování komunikací. V praxi je tvořen dlouhým průběžným vedením, z něhož jsou napájeny jednotlivé podružné rozvodny či zařízení. U tohoto typu vedení je kladen důraz na kontrolu úbytku napětí. [2]



Obr. 5 Průběžná síť

- Dvojpaprskový rozvod – Tento druh je kombinací dvou rozvodů typu paprsků. Aby nedošlo k paralelnímu chodu, jsou všechny podružné rozvaděče rozpojeny podélně. Pokud by došlo k výpadku jednoho z nich, poté dochází k propojení. Hodí se pro napájení prvního stupně důležitosti odběrů. [2]

3. Obnovitelné zdroje v distribuční síti – druhy, parametry, umístění

3.1. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje tzv. čistá energie, jsou zdroje, které jsou nějakým způsobem nevyčerpatelné. Tyto zdroje můžeme využívat, aniž by se vyčerpaly. Například sluneční energie nebo větrná energie. Nevýhodou takovýchto zdrojů je jejich nestálost. Slunce stále nesvítlí, vítr stále nefouká. Dnes se vyvíjí tlak na ekologii a bezemisní energetické zdroje, proto se poptávka a požadavky stále zvyšují.

3.2. Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny přeměňují světelnou energii na energii elektrickou. Využíváme k tomu fotovoltaické panely. Panely jsou tvořeny z více fotovoltaických článků využívající PN přechod.

Článek je tvořen ze spodní strany P, která je nejčastěji tvořena plátem krystalického křemíku s příměsí bóru. Vrchní strana je specifikována polovodičem typu N, ve které může být obsažen křemík dotovaný indiem. Princip spočívá v tom, že na rozhraní vrstev vzniká PN přechod s průchodem volných elektronů s jediným průchodem z vrstvy P do vrstvy N. Při dopadu fotonů ze Slunce se uvolněné elektrony hromadí ve vrchní vrstvě N. Tyto elektrony tvoří mezi vrstvami potenciál o přibližné hodnotě 0,6 V. Toto stejnosměrné napětí se při připojení elektrod může využít. [4]

Fotovoltaické články jsou vyráběny v různých formách :

- Monokrystalické články

Článek je tvořen křemíkovou podložkou, která je nařezána na plátky z křemíkového monokrystalu. Struktura je čistá a jednolitá, účinnost se pohybuje v rozmezí od 14 do 20 %. [4]

- Polykrystalické články

Článek je také tvořen křemíkovou podložkou, ale skládá se z více menších křemíkových krystalů. Výhodou oproti monokrystalickým článkům je, že bývá levnější a výroba ingotu je jednodušší. Účinnost se pohybuje v rozmezí od 12 do 15 % a je používán nejčastěji. [4]

- Amorfni články

Základem je tenká vrstva fotocitlivého materiálu, která je napařena na vhodný podklad (může to být sklo, plast nebo nerezová ocel). U těchto článků je užití i vícevrstvé a tyto vrstvy mají každá jinou citlivost k různým spektrům slunečního záření, čímž se zvyšuje využití. Další výhodou je, že jsou méně citlivé na orientaci a teplotu v okolí. Účinnost je okolo 8 až 10 %. [4]

Články se v panelech propojují sériově i paralelně. Sériové zapojení se používá pro zvýšení výstupního napětí. Paralelní zapojení je využíváno pro zvýšení výstupního proudu. Zapojení se může mísit jako sériově–paralelní pro optimální velikost výstupních veličin. Fotovoltaické články v panelech přeměňují sluneční energii pouze na stejnosměrné napětí, které je pomocí měniče přeměněno na střídavé napětí. [4]

Fotovoltaické panely mají průměrnou odolnost, přibližně do 30 let. Panel tvoří pevná spodní deska v pevném rámu. Na vrchní části panelu je položena průhledná ochrana (tvrzené leštěné sklo).

Tato vrstva ovlivňuje účinnost přeměny energie. Musí být odolná proti krupobitím a bouřkám, a také musí být vodotěsná. [3]

Fotovoltaické panely se často umísťují na střechy obytných nebo průmyslových budov. Většinou se pro zvýšení účinnosti konstrukce vybavují systémem sledujícím polohu Slunce a systémem natočení panelu kolmo k dopadajícím paprskům slunečního záření.

Druhy zapojení fotovoltaických panelů:

- ON-GRID

U tohoto systému je výhodou, že se veškerá přeměněná elektřina zpracuje. Systém je složen z většího množství fotovoltaických modulů, měniče napětí, síťové ochrany a přístroje pro regulaci a měření. Připojení fotovoltaických systémů do elektrizační soustavy lze provést dvěma způsoby. Buď jako zelený bonus, nebo výkupní tarif. Zelený bonus znamená, že většina elektrické energie se spotřebuje u provozovatele fotovoltaického systému. Zatímco zapojení do výkupního tarifu znamená, že veškerá přeměněná elektrická energie je dodána do elektrizační soustavy. [5]

- Hybridní systém

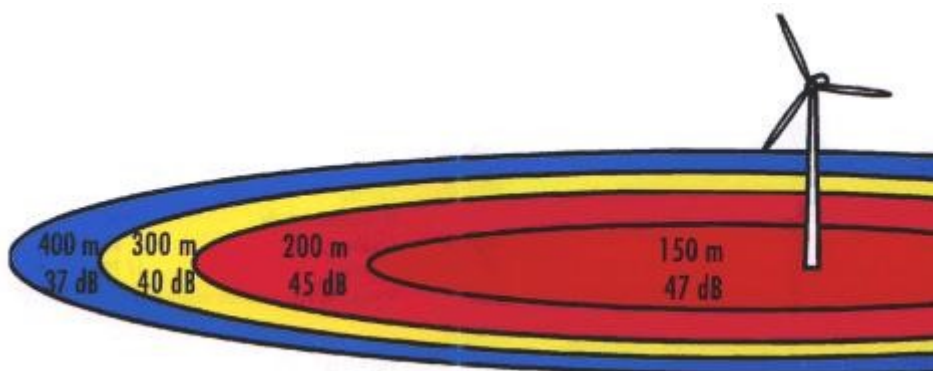
Tyto systémy jsou kombinací systému on-grid a off-grid. Na rozdíl od fotovoltaické elektrárny zapojené on-grid mají celkovou využitelnost v místě výroby, buď jako elektrická energie, nebo pro vytápění či klimatizaci, nebo pro dodávku energie spotřebičům. Dnes již jsou tyto systémy vybaveny hybridním měničem, který přeměňuje přebytečnou energii ve špičkách do zvoleného energeticky náročného spotřebiče. [5]

- OFF-GRID (neboli ostrovní)

Off-grid systémy neboli ostrovní se využívají převážně v místech, kde se nevyskytuje veřejná síť. Systémy off-grid jsou složeny z fotovoltaických modulů, akumulátorové baterie a ochranného obvodu. Větší systémy mohou obsahovat i napěťový měnič. K ostrovnímu systému se mohou připojit spotřebiče většinou o napětí 12 nebo 24 V. V případě síťových spotřebičů je napojení přes napěťový střídač o napětí 230 V. [5]

3.3. Větrné elektrárny

Větrné elektrárny přeměňují mechanickou energii vyráběnou lopatkami, poháněnými větrem, na energii elektrickou. Větrná elektrárna funguje na principu, kdy na listy rotoru působí proudící vzduch, a tak vzniká rotační mechanická energie. Tato mechanická energie je převedena do generátoru a zde je přeměněna na elektrickou energii. Nevýhodami jsou hlučnost, jak jde vidět na Obr. 6, nestálost větru (což znamená proměnlivý výkon) a finanční náročnost. Zohlednit se musí také místo výstavby. Stavějí se především na místech, kde dochází k velkému proudění vzduchu (například pobřeží).



Obr. 6 Šíření hluku od větrné elektrárny

Větrné turbíny se dělí podle osy otáčení a principu fungování a dle instalovaného výkonu.

Podle osy otáčení se dělí na:

- Horizontální turbínu

Horizontální turbína musí vždy směřovat proti proudění vzduchu, proto musí být vybavena senzorem větru pro větší elektrárny. Pro menší elektrárny stačí směrová lopatka. Účinnost takovéto turbíny je okolo 48 %. Tato turbína je většinou vybavena převodovým zařízením pro zvýšení rychlosti pomaloběžného rotoru na rychlost vhodnou pro generátor. [7]

- Vertikální turbínu

Vertikální turbína nemusí směřovat proti proudění větru, roztáčí se kdykoli na ni začne působit vítr. Využívá se tedy tam, kde se velmi často mění směr proudění větru. Je také méně hlučná a lépe umístitelná. Avšak účinnost je okolo 38 % a také jsou dražší než horizontální. [7]

Podle principu fungování se dělí na:

- Odporové turbíny

Odporové turbíny využívají rozdílů sil působících na lopatky. Mají jednodušší princip a nižší účinnost než vztahové turbíny. Rozdíl sil je dosaženo dvěma způsoby: různým tvarem lopatek a natočením lopatek. [7]

- Vztahové turbíny

Vztahové turbíny fungují na principu aerodynamické vztahové síly. Speciálně upravený profil lopatek umožňuje obtékání vzduchu kolem nich. Tvar lopatky je jako u letadla. Takto používané turbíny jsou nejčastější. Odporové turbíny využívají rozdíl sil působících na lopatky. [7]

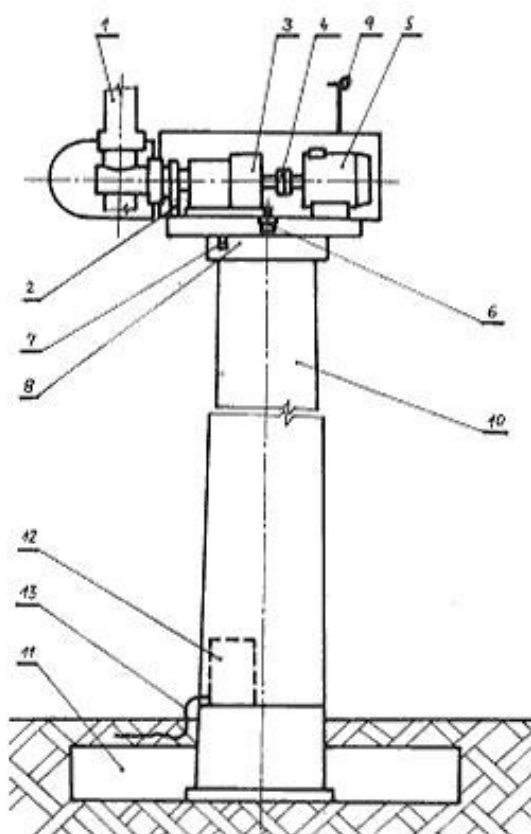
Větrné elektrárny se dělí podle výkonu na:

- Malé elektrárny (do 5 kW)

Malé větrné elektrárny jsou zdroj nízkého napětí pro obytné objekty s malým odběrem. Instalují se tam, kde nejsou přípojky elektrického proudu. Používá se v nich synchronní generátor buzený permanentními magnety, který má na výstupu 12 nebo 24 V. K elektrárnám se někdy doplňuje měnič pro střídavý proud s napětím 220 V. [7]

- Elektrárny velkých výkonů (300–3000 kW)

Elektrárny velkých výkonů jsou vybaveny asynchronním generátorem dodávajícím střídavý proud většinou o napětí 660 V. Dodávají energii do veřejné sítě, avšak nemohou pracovat jako samostatný zdroj. Staví se především do větrných farem. V takovýchto případech musí být počítáno se vzájemným ovlivněním jednotlivých rotorů. Vzdálenost jednotlivých elektráren je u velkých farem až patnáctinásobek průměru rotoru. [7]

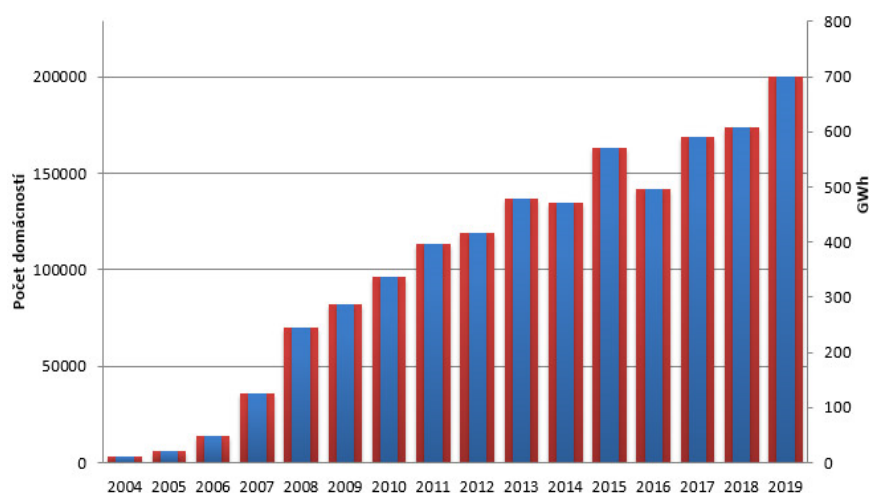


Obr. 7 Schéma větrné elektrárny

Na Obr. 7 je vidět jedno ze schémat větrných elektráren, jelikož každý výrobce vytváří větrné elektrárny jinak. Na vrcholu se nachází srdce celé elektrárny, a to strojovna, ta je umístěna v gondole, kde dochází k převodu otáček a přeměně elektrické energie. Rotor neboli lopatky jsou umístěny na hřídeli, která předává výkon na převodovku (3), ta zajišťuje zvýšení otáček pro správnou hodnotu generátoru (5). Pro bezpečnost je mezi generátorem a převodovkou umístěna brzda (2), která dokáže zabrzdit rotor během několika sekund. Pro lepší využitelnost větrné elektrárny je na strojovně umístěn servopohon natáčení (6) proti větru. Pro zajištění je zabudována brzda točny strojovny (7) a nakonec musí být zabudována čidla pro rychlost a směr větru (9). Pro přeměnu na elektrickou energii se používá technologie asynchronního i synchronního generátoru. Strojovna je většinou konstruována ve výškách, kde dochází k většímu proudění vzduchu, proto je důležitá věž elektrárny (10). V Evropě většinou věž tvoří ocelový tubusový stožár. Vyrábí se po menších částech, aby se s ní lépe manipulovalo při převozu a následné výstavbě na místě určení. Rozšiřuje se také stavba betonových stožárů, díky nimž je výstavba větrných elektráren blízko u sebe ekonomičtější. Nakonec je důležitý betonový základ (11), který nese tíhu celé větrné elektrárny, při jeho výstavbě je brán ohled na geologický průzkum pro stabilitu. Nakonec nám připojení do elektrické sítě zajišťuje elektrorozvaděč silnoproudého a řídicího obvodu (12) a elektrická přípojka (13) nacházející se ve spodní části elektrárny. [6]

- Větrné elektrárny v České republice

V České republice nejsou dostatečně příznivé podmínky pro výstavbu a využití větrných elektráren, proto je u nás instalovaný výkon z těchto elektráren 700 GWh za rok 2019. Jak můžeme vidět na Obr. 8, poptávka sice stoupá, avšak nejde o žádný razantní vzestup. V roce 2019 bylo v České republice instalováno okolo 325 větrných elektráren. [8]



Obr. 8 Instalovaný výkon v průběhu let v ČR

3.4. Vodní elektrárny

Vodní elektrárny k přeměně elektrické energie využívají potenciální a kinetickou energii ve formě vodních toků. Jako zdroj energie se staví od nejmenších průtočných elektráren o výkonu v desítkách kW až po velké předhradní elektrárny o výkonu v tisících MW. Jsou schopny rychlého najezení na plný výkon, díky tomu jsou to zdroje pro start celé soustavy po blackoutu. Princip vodních elektráren je založen na předávání energie vody v turbíně, následně turbína připojená společnou hřídelí s generátorem mění mechanickou energii na elektrickou energii. Takto utvořené soustrojí turbíny s generátorem dohromady nazýváme turbogenerátor. [9]

Výkon turbíny je závislý ve vztahu (3.1).

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \mu \quad [W] \quad (3.1)$$

ρ = hustota vody [1000 kg/m³], Q = průtok [l/s], g = tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$], H = spád [m], μ = účinnost turbíny

Oběžné kolo je základním prvkem turbín. Turbíny se dělí dle typů a rozměrů podle potřeb. Turbíny z hlediska přenosu energie jsou rovnotlaké a přetlakové. Zatímco v rovnotlaké turbíně se tlak vody nemění, u přetlakových turbín je tlak vody před oběžným kolem větší než za ním. Z hlediska polohy hřídele jsou horizontální, vertikální nebo šikmé. [9]

Typy turbín:

- Francisova turbína

Tento typ turbíny je vhodný pro velké průtoky a spády, funguje i jako čerpadlo, tedy využívá se u přečerpávacích vodních elektráren, jelikož se přes ní dá voda čerpat zpět. Voda se reguluje pomocí natáčecích lopatek, je to typ přetlakové turbíny. [9]

- Bánkiho turbína

Turbína je využita pro malé a střední spády, je to typ rovnotlaké turbíny. Voda prochází přes lopatky dvakrát: na začátku, když přiteče do oběžného kola, a následně i při odtoku. [9]

- Kaplanova turbína

Jedná se o přetlakovou turbínu, lopatky oběžného kola se dají regulovat hydraulicky a v případě menších turbín mechanicky, čímž dosahuje vyšší účinnosti v širokém pásmu průtoků. Je konstrukčně složitější než Francisova turbína. [9]

- Peltonova turbína

Řadí se mezi rovnotlaké turbíny. Princip této turbíny spočívá v tom, že se pomocí dýzy vstřikuje voda na lopatky turbín a tím dochází ke změně tlakové energie vody na kinetickou energii. Regulace je zajištěna zvětšováním či zmenšováním otvoru dýzy. Tento typ turbíny je vhodný pro velké spády. Lopatky mají miskovitý tvar a jsou umístěny po obvodu turbíny. [9]

Jelikož jsou vodní elektrárny závislé na vodní infrastruktuře, dělíme je podle instalovaného výkonu malá elektrárna (do 10 W), střední elektrárna (do 100 MW) nebo velká elektrárna (nad 100 MW). Důležitý parametr je spád, ten může být do 20 m což je nízkotlaká, v rozmezí od 20 do 100 m středotlaká a spád nad 100 m vysokotlaká. Vodní elektrárny jsou průtočné, akumulární, přečerpávací a slapové.

Průtočné vodní elektrárny nijak neovlivňují přirozený průtok řeky. Pokud by došlo k překročení povoleného průtoky, přebytečné množství vody by bylo nevyužito a odvedeno. Využívají se pro pokrytí základního zatížení. Jsou dva typy průtočných elektráren jezové a derivační. Jezové vodní elektrárny, jak z názvu vyplývá, používají jez pro zvednutí hladiny a zvyšují tak spád. Spád je většinou mezi 10 a 20 m. U derivační vodní elektrárny je instalován derivační přivaděč, který odvádí část vodního toku z řeky k turbíně. Převaděč se využívá pro zvýšení spádu tím, že se část řeky zkrátí. [9]

- Akumulární vodní elektrárny pro spád využívají akumulaci vody v přehradách (přehradní vodní elektrárny). Jelikož se řízeným odběrem odvádí voda z vodní nádrže, pokrývají špičkové či pološpičkové zatížení. [9]
- Přečerpávací vodní elektrárny jsou propojené dvě vodní nádrže, každá jinak výškově postavená. Pokud dojde k přebytku elektrické energie v síti, přečerpává se čerpadly voda z níže položené nádrže. Pokud dojde k zatížení ve špičce, a je energie nedostatek, voda proudí přes turbínu dolů do spodní nádrže a dodává energii do sítě. [9]

- Slapové vodní elektrárny jsou stavěny na pobřeží a využívají přílivu a odlivu. Využívá se zde kinetická energie vody při zvyšování a snižování vodní hladiny. Tyto stavby jsou technologicky náročné a musí splňovat specifické požadavky na umístění. [9]

- Vodní elektrárny v České republice

V České republice nemáme ideální podmínky pro budování velkých vodních děl, avšak i tak jsou nedílnou součástí naší elektrizační soustavy. U nás nejsou toky, které by měly potřebný spád ani dostatečné množství vody, proto se u nás vodní elektrárny využívají jako doplňkový zdroj elektrické energie, jelikož mají rychlé nasetí na vysoký výkon, čímž okamžitě regulují elektrickou energii v síti. [10]

Velké vodní elektrárny v ČR		
Název	Typ	Jmenovitý výkon (MW)
Dlouhé Stráně	Přečerpávací	650
Dalešice	Přečerpávací	480
Orlík	Akumulační	364
Slapy	Akumulační	144
Lipno I	Akumulační	120
Štěchovice II	Přečerpávací	45
Kamýk	Akumulační	40
Štěchovice I	Akumulační	22,5
Střekov	Průtočná	19,5
Vranov nad Dyjí	Akumulační	18,9
Vrané	Akumulační	13,8
Nechranice	Akumulační	10

Tab. 1 Velké vodní elektrárny

3.5. Elektrárna na biopaliva

Biomasa je všechno organické na naší planetě. Je to nejstarší zdroj energie, který lidstvo využívá. Až do poloviny 18. století bylo dřevo jediným využívaným palivem pro získání tepelné energie. Až v 19. století se začalo používat fosilní palivo jako náhrada za dřevo, avšak od začátku 21. století se kvůli klimatickým změnám obracíme zpět ke spalování biopaliv. V energetice hledáme biomasu pro energetickou využitelnost. Považujeme tedy energetickou biomasu většinou jen jako rostliny. Energii získáváme spalováním biomasy, narozdíl od fosilních paliv nevzniká téměř žádný oxid uhličitý. Biomasa má velmi vysoký podíl těkavých látek a plyny, které vznikají, mají různé spalovací teploty. Proto je třeba zajistit vysokou teplotu a účinné promísení se vzduchem. Stává se, že hoří pouze část paliva. Tímto spalováním můžeme dosáhnout získání tepla a elektrické energie. Účinnost u získávání tepla je více než 90 %, účinnost zisku elektrické energie je 50 %. Biopaliva se dělí na suchá, vlhká a speciální. Suchá biomasa se spaluje přímo. Vlhká biomasa se používá k výrobě bioplynu a ze speciálních se získává bionafta nebo líh. [11]

Pro energetické účely chceme rychle rostoucí dřeviny nebo rostliny bylinného charakteru. Musí splňovat snadný výsev, krátké vegetační období a možnost užití i pro neenergetické účely. Mezi takové biomasy patří: olše, topol, vrba, konopí, ostrův, cukrová řepa, řepka olejná. [11]

- Zpracování biomasy pro energetické účely

Je třeba biomasu neboli dřeviny, byliny a další biopaliva řádně zpracovat, než se budou dát využít pro výrobu energie. Mezi mechanické procesy ke zpracování do finální verze patří řezání, drcení, lisování oleje a lisování briket. Při zpracování biomasy je neekonomické převážet některý z produktů, proto se vše od zpracování po získání snaží získat a udělat na místě se spalovnou biomasy. [11]

Dalším druhem zpracování jsou termické procesy neboli procesy, které působí na odpad teplotou, která ničí jeho chemickou stabilitu. Mezi příklady termických procesů patří:

- Spalování

Jedná se o nejstarší metodu zpracování dřeva či jiných pevných odpadních částí biomas pro energetické účely. Dnes se k výrobě dřevěného uhlí využívá suché destilace v karbonizačních pecích. Nevýhodou je, že k výrobě 1 tuny dřevěného uhlí je zapotřebí 10 tun dřeva, také při tomto procesu vzniká mnoho škodlivých látek jako oxid uhelnatý a formaldehydy, acetaldehydy. [11]

- Parolýza

Pomocí vysokých teplot, které ohřívají odpad nad mez stability, se využívá pro výrobu bio oleje. Jako odpad je použit papír či pneumatiky, výhřevnost oleje je 16–19 kJ/kg. Díky efektivnímu využití použitých věcí se jedná o perspektivní metodu využití biomasy. [11]

- Zplyňování

Jak už vyplývá z názvu, zpracováním dochází k přeměně na plynné produkty. Jako zdroj je využívána sláma, odpadové palivo či dřevo a jako produkt je následně plyn, který lze využívat k přeměně na elektřinu či teplo nebo jako palivo pro vozidla. [11]

Dále můžeme zpracovat biomasu za pomoci biochemické a chemické přeměny.

Alkoholová kvašení – Za pomoci organické fermentace a následné destilace rostlin obsahujících cukr a škrob získáme etanol. Produkt, který se využívá jako ekologické palivo pro spalovací motory. [11]

Metanové kvašení – Touto metodou získáváme bioplyn, tj. směs plynů obsahující metan, oxid uhličitý a další plyny. Získává se za znepřístupnění vzduchu při zpracování odpadních vod a zvířecích exkrementů. [11]

Esterifikace surových olejů – Zisk při zpracování z vylisovaného oleje z olejnatých rostlin je metylester, který má podobné vlastnosti jako motorová nafta.

- Biomasa a její využití v České republice

Výroba elektřiny a tepla z biomasy nejen v České republice razantně stoupla. Je to levný a dostupný zdroj tepla a elektrické energie, který je docela bezemisní. V České republice se začal podporovat provoz výroby energie z biomasy. V roce 2015 bylo přeměněno na elektrickou energii z biomasy 2091 GWh. Z toho 1062 GWh bylo přeměněno ze spálení dřevin, 688 GWh přeměněno spálením celulóзовých výluhů a zbytek spalováním rostlinných materiálů. [11]

4. Zpětné vlivy

Zpětné vlivy jsou z většiny negativní jak pro spotřebitele, tak pro distributora sítě, proto je třeba je omezit.

4.1. Podpětí

Dochází ke snížení napětí na krátkou dobu. Při podpětí nedochází k takovému riziku jako při přepětí, ale může dojít k poškození či dokonce k zničení zařízení. Může být zapříčiněno nedostatečnou kompenzací či poruchou regulace napětí. [13]

4.2. Přepětí

Jedná se o vyšší napětí, než je povolené nejvyšší provozní napětí. Při navýšení napětí nad povolenou hranici napětí jsou zařízení konstruována, aby určitou dobu vydržela. Dojde-li však k delšímu intervalu, může dojít k nevratnému poškození zařízení. Ochrany proti přepětí jsou bleskosvody, ochranná jiskřiště, svodiče přepětí. Vyšší napětí může být zapříčiněno v důsledku provozních změn a manipulací. Existují dva druhy přepětí: atmosférická přepětí a spínací přepětí. Spínací přepětí neboli vnitřní přepětí je způsobeno provozními změnami. Vzniká při vypínání či spínání výkonných spotřebičů. Atmosférické přepětí neboli vnější přepětí, dochází k němu při úderu blesku. Je mnohem nebezpečnější než spínací přepětí, jelikož způsobuje větší škody. [12,13]

4.3. Flikr

Je to jev způsobený kolísáním napětí neboli rychlé periodické změny napětí. Vnímáme tento jev jako problikávání žárovky či změnu intenzity světla. Tento jev je nepříjemný z psychického hlediska pro člověka. Člověk se nemůže soustředit, způsobuje mu to nepohodlí a únavu. Tento problém se týká především nočních hodin. Flikr však negativně ovlivňuje také technická zařízení, která jsou citlivá na kolísání napětí. Příkladem může být televize. Na kolísání napětí mají velký vliv spotřebiče, rozběh velkých motorů, spínání či různé provozní stavy. Pro závažnost flikru jsou dva parametry: krátkodobá míra vjemu flikru – tato hodnota je měřena 10 minut, dlouhodobá míra vjemu flikru – tato hodnota je měřena 120 minut. [14]

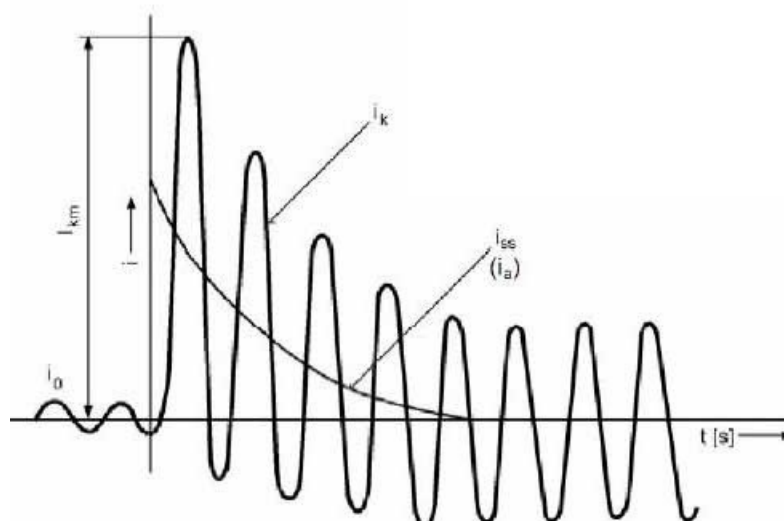
4.4. Ovlivnění signálu HDO

HDO (Hromadné dálkové ovládání) signál se využívá pro dálkově řízený odběr elektrické energie z dispečerského centra. Pro řízení využívá nízkonapěťový signál na frekvenci vyšší, než je základ sítě. Tento signál musí mít správně volený kmitočet, aby byl co nejméně rušen. U nás se používají signály s frekvencí 183,3 Hz, 283,3 Hz nebo 216,6 Hz. Rušící elementy tohoto signálu jsou zejména liché násobky vyšších harmonických. Tento signál je využíván pro lepší regulaci sítě. HDO signál je používán pro snížení zatížení sítě, slouží k dálkovému spínání zařízení jako třeba městské osvětlení, snižuje odběratelům náklady v době nízkého tarifu. Původně se tento systém využíval pro přepínání denního a nočního režimu. Šlo o motivaci pro odběratele odebírat energii především v noci kvůli přebytku energie a lepší ceně energie. Dnes již je tento signál vyslán během dne mnohokrát pro lepší regulaci zatížení sítě. Vysílače HDO tvoří statické výkonové měniče frekvence na bázi tyristorových střídačů. Jejich vlastností je stabilní výstupní frekvence a snadná regulace, což znamená nižší náklady na údržbu a menší velikost. Příjímače signálu HDO obsahují filtr naladěný na daný kmitočet, poté je třeba tento kmitočet dešifrovat, na což potřebuje logický prvek a posledním prvkem je akční člen neboli spínací

zařízení. Příjímač se nachází u odběratele elektrické energie a bývá umístěný v rozvaděči. Nejvíce ovlivnění na signál HDO mají zejména výrobní a zařízení pro kompenzaci účinníku. [15]

4.5. Příspěvek ke zkratovým poměrům

Zkratů jsou nejčastější příčinou poruch. Dochází k nim při spojení dvou či více fází nebo spojení fáze se zemí. Pokud mají dvě fáze rozdílný potenciál, dochází ke snížení impedance, a tedy k nárůstu zkratového proudu. Zkratový proud má za následek velké tepelné a silové účinky. Rozlišujeme dva druhy zkratů souměrné a nesouměrné. Při souměrném zkratu dochází ke trojfázovému zkratu, kdy jsou všechny 3 fáze spojeny se zemí a jsou tak postiženy všechny tři fáze. Při nesouměrném zkratu rozlišujeme tři druhy: dvoufázový zkrat, dvoufázový zemní zkrat a jednofázový zkrat. Při dvoufázovém zkratu dochází ke spojení dvou různých fází v jednom bodě. Dvoufázový zemní zkrat je zkrat, při kterém se spojí dvě různé fáze se zemí a u jednofázového zkratu dochází při spojení jedné fáze a země. [17]



Obr. 9 Průběh zkratového proudu

Na Obr. 9 je znázorněn průběh zkratového proudu. Složka I_{km} je první amplituda a jde o nárazový zkratový proud. i_k označuje okamžitou hodnotu zkratového proudu. i_{ss} je stejnosměrná složka zkratového proudu. [16]

4.6. Příspěvky k úrovni harmonických proudů

Harmonické jsou násobky základní síťové frekvence. V České republice je síťová frekvence 50 Hz, takže druhá harmonická je 100 Hz. Zdroje takovýchto vyšších harmonických mohou být usměrňovače, zářivky, pulzní zdroje, indukční zdroje, obloukové elektrické pece. Vyšší harmonické jsou nežádoucí vliv, jelikož značně zvyšují náklady na elektrickou energii. Máme díky nim vyšší ztráty při přenosu, zvyšují nám zatížení jalovým výkonem. Důsledkem je přehřátí a následné vypadnutí přístrojů.

5. Limity připojitelnosti

Pro připojení obnovitelného zdroje k síti je nutné mít souhlas distributora sítě. Normy a distributor sítě udávají podmínky připojení zdroje k síti, ať už připojujeme fotovoltaický panel, vodní elektrárnu, větrnou elektrárnu nebo elektrárnu na biomasu. Při takovémto připojení jsou důležité zpětné vlivy, aby nedošlo k možné poruše či špatnému napojení na síť.

5.1. Podmínky pro připojení

Při připojování k síti musí být zajištěno, aby nedošlo k zavlečení zpětného napětí do distribučních sítí provozovatele. Podmínkou připojení k síti je, že všechny fáze sítě musí být pod napětím. Pro připojení se užívá spínač spojující celé zařízení odběratele se sítí, dále spínač spojuje buď jeden výrobní modul, nebo více paralelních výrobních modulů s dalšími přístroji odběratele. Tento spínač musí být blokován, dokud není napětí nad zapínací hodnotou podpěťové ochrany. [18]

5.2. Zvýšení napětí

Při základním zapojení v normálních provozních podmínkách nesmí hodnota napětí přesáhnout 2 % pro výrobní s místem připojení v síti vysokého napětí a 110 kV ve srovnání s napětím bez připojení, dále nesmí být překročeny limity napětí v předávacím místě. [18]

5.3. Změny napětí při spínání

Při normálních pracovních podmínkách v základním zapojení sítě změny napětí při připojování a odpojování jednotlivých zdrojů nevyvolávají nevyžádané zpětné vlivy.

V síti nn v předávacím místě musí napětí splňovat podmínku:

$$\Delta U_{max\ nn} \leq 3\%$$

V síti vn v předávacím místě musí napětí splňovat podmínku:

$$\Delta U_{max\ vn} \leq 2\%$$

Takto dané napětí platí, pokud spínání zařízení není častější než jednou za 1,5 minuty. Při malém počtu spínání, jako například jednou za den, může být napětí změněno jinak, pokud je to přípustné v síti. Pokud probíhá spínání výroben v síti vn a nn současně, dovolený limit napětí je $\pm 10\%$ U_n v předávacím místě. [18]

Pro výrobní v síti 110 kV platí pro změny napětí způsobené spínáním za provozních podmínek:

- Při spínání jednoho výrobního zdroje, může to být jeden generátor větrné turbíny, platí:

$$\Delta U_{max} \leq 0,5\%$$

- Při spínání celého zařízení, tedy celého větrného parku, platí:

$$\Delta U_{max} \leq 2\%$$

Připojení asynchronních strojů s přibližně synchronními otáčkami vlivem svých přechodových jevů mohou způsobovat krátké poklesy napětí, pokles smí dosáhnout maximálně dvojnásobku jmenovité

hodnoty. V případě, že netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí není menší než povolená hodnota. [18]

5.3.1. Připojování synchronních generátorů

Pro synchronní generátory musí být takové synchronizační zařízení, aby mohly být dodrženy podmínky pro správnou synchronizaci: [18]

- Sled fází u generátoru a sítě musí být stejný
- Rozdíl napětí zařízení a sítě - $\Delta U < \pm 10 \% U_n$
- Rozdíl frekvence generátoru a sítě - $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
- Rozdíl fáze napětí sítě a generátoru - $< \pm 10^\circ$

5.3.2. Připojování asynchronních generátorů

Asynchronní generátory, které jsou rozbíhané pomocí pohonu, musí při připojení být bez napětí při otáčkách v rozmezí 95 až 105 % synchronních otáček. Pokud je asynchronní generátor schopen ostrovního provozu a nejsou připojovány bez napětí, musí se u nich dodržet stejné podmínky spínání jako u synchronních generátorů. [18]

5.3.3. Připojování výroben se střídači

Střídače mohou být spínány jen, pokud je jejich střídavá strana bez napětí. Pokud je výrobní se střídačem schopná ostrovního provozu a nejsou spínány bez napětí, musí se dodržet stejné podmínky spínání jako pro synchronní generátory. [18]

5.4. Podmínky pro zpětné vlivy

Jak už bylo uvedeno výše, pro správný provoz zařízení odběratele a provozování elektrizační sítě je třeba omezit zpětné vlivy. Vycházíme ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich příslušných mezí. Připojení výrobní k síti může být provedeno bez kontroly zpětných vlivů, pokud poměr zkratového výkonu sítě ke jmenovitému výkonu celého zařízení je větší než 500.

Pro posouzení připojení jednoho nebo více zdrojů v jednom společném napájecím bodu je třeba dodržet tyto mezní podmínky: [18]

5.4.1. Změny napětí

Povolená změna napětí pro společný napájecí bod v síti nízkého napětí je $\Delta U_{max\,nn} \leq 3 \%$, v síti vysokého napětí při 110 kV je $\Delta U_{max\,vn} \leq 2 \%$.

5.4.2. Flikr

Při posuzování z jednoho nebo více zdrojů v jednom předávacím místě bereme ohled na kolísání napětí vyvolávající flikr. Hodnotu dlouhodobého flikru je třeba dodržet. Pro síť vysokého a nízkého napětí ve společném napájecím bodě je mezní hodnota: $P_{lt} \leq 0,46$ a ve společném napájecím bodě pro 110 kV je mezní hodnota: $P_{lt} \leq 0,37$. [18]

5.4.3. Výrobní v síti nízkého napětí a jejich harmonické

Pokud výrobny splňují požadavky na velikosti emise harmonických proudů podle norem, lze považovat vliv emitovaných harmonických proudů na distribuční síť za přípustný. Jestliže nejsou meze v normách dodrženy, je možnost posouzení připojitelnosti bez přidavných opatření použit vztah (5.1). [18]

$$I_{vnn} = i_v \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}} \quad (5.1)$$

Ve vztahu (5.1): I_{vnn} je přípustný proud, i_v je vztažný proud, uvedený v Tab. 2, S_{kV} je zkratový výkon ve společném napájecím bodě, $\sin \psi_{kV}$ je sinus úhlu impedance soustavy. Tento výpočet nemůžeme aplikovat, jestliže je společný napájecí bod v síti vysokého napětí. [18]

Řád harmonické v, μ	Přípustný vztažný proud $i_{v,\mu}$ [A/MVA]
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
$25 < v < 40$	$0,15 \cdot 20/v$
$M < 40^a$	$0,15 \cdot 20/v$
Sudé	$1,5/v$
$M < 40$	$1,5/v$
$40 < \mu, v < 178^b$	$4,5/v$
a) liché b) Celočíselné a neceločíselné v pásmu šířky 200 Hz od střední frekvence u Měření podle ČSN EN 61000-4-7	

Tab. 2 Přípustné vztažné proudy

5.4.4. Výrobný v síti vysokého napětí a jejich harmonické

Pokud se jedná o předávací místo s jedním připojeným zařízením v síti, lze v tomto bodě určit přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů z Tab. 3, násobených zkratovým výkonem ve stejném napájecím bodě. [18]

$$I_{vvn} = i_{vvn} \cdot S_{kV} \quad (5.2)$$

Jestliže se jedná o předávací místo s více připojenými zařízeními, určí se harmonické proudy pro každé zařízení zvlášť. Násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A s celkovým připojitelným či plánovaným výkonem S_{AV} ve společném napájecím bodě. [18]

$$I_{vvn} = i_{vvn} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (5.3)$$

V síti vysokého napětí pro přípustné harmonické proudy vztažené na zkratový výkon vyvolaný zařízením přímo připojeným do sítě, viz v Tab. 3. [18]

Řád harmonické μ, ν	Přípustný vztažený proud harmonických $i_{\nu, \mu}$ [A/MVA]		
	Síť 10 kV	Síť 22 kV	Síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/ ν	0,03/ ν	0,017/ ν
$\mu < 40$	0,06/ μ	0,03/ μ	0,017/ μ
$\mu > 40$	0,16/ μ	0,09/ μ	0,046/ μ

Tab. 3 Přípustné vztažené proudy

5.4.5. HDO signál

Jak je napsáno výše, signál HDO především ovlivňují výrobní a zařízení pro kompenzaci účinníku. Především ovlivňují vysílač HDO přídavným zatížením, což je impedance vlastního zařízení výrobní a zvýšené zatížení sítě, které je připojeno k síti. Posuzuje se vliv výrobní na zátěž daného vysílače HDO, informace o zatížení poskytuje provozovatel distribuční soustavy. Jestliže je tato informace blízká maximu, je připojení nepřípustné. Pokud však tomu tak není, je přípustné. Pro vysílač do 110 kV je možné zvýšit zatížení do 5 A a u vysokého napětí lze zvýšit do 2 A. [18]

Dovolené snížení signálu HDO výrobkami je maximálně 5 %, pokud i po tomto snížení je stále dodržena povolená úroveň signálu HDO. Při mimořádných zapojeních musí být zaručena tato úroveň. V mezích frekvence 183–283,3 Hz náleží minimální úroveň signálu HDO pro nízké napětí 150 % U_f , pro vysoké

napětí je 190 % U_f a pro 110 kV je 200 % U_f . U_f je náběhové napětí přijímače, obvykle nabývá hodnot v rozmezí 0,8–0,9 % U_n . [18]

Obecně platí, že nesmí být produkována žádná rušivá napětí, musí být dodržena následující pravidla:

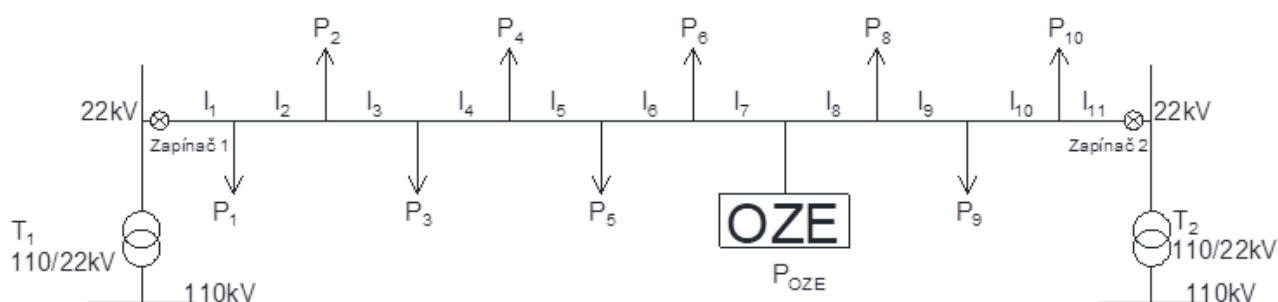
- Vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence je místně použitá frekvencí HDO nebo je v bezprostřední blízkosti, nesmí být vyšší než 0,1 % U_n .
- Jestliže je 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvenci HDO, nesmějí napětí v přípojném bodě překročit 0,3 % U_n .

Výše uvedené hodnoty pro síť nízkého napětí splňují účel v případě, kdy nejsou připojeny více než dvě výroby. V tomto případě jsou zapotřebí výpočty a případně realizace příslušných opatření. [18]

6. Výpočetní příklad – připojení obnovitelného zdroje k síti

V praktické části bakalářské práce se budu zabývat výpočtem připojení zdroje do sítě, buď fotovoltaický panel, nebo větrnou elektrárnu. Budu posuzovat vliv zdroje na fiktivní síť o napěťové hladině 22 kV, která může být napájena ze dvou stran. Výpočtem ověřím, zdali je možné připojit obnovitelný zdroj do sítě, aniž by byly porušeny limity připojitelnosti.

6.1. Parametry vedení



Obr. 10 Schéma s připojeným obnovitelným zdrojem

Vedení je tvořeno kabelem AlFe6:

- Jmenovitý průřez $S = 95 \text{ mm}^2$
- Průměr lana $d = 13,58 \text{ mm}$
- Hmotnost $m = 384,62 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-1}$
- Reaktance $X_v = 0,35 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$
- Největší odpor na 1 km vedení $R_v = 0,301 \Omega$

Parametry obnovitelného zdroje:

$$P_{OZE} = 1,1 \text{ kW}$$

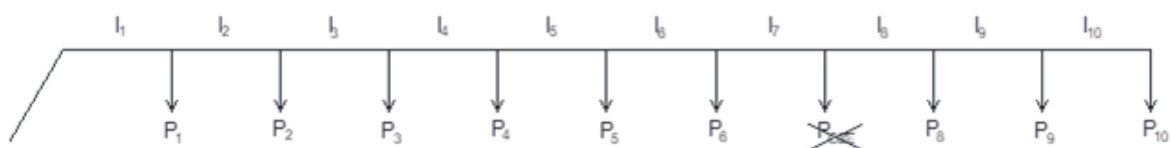
$$\cos \varphi_7 = 1$$

Jednotlivé odběry a délky:

$P_1 = 230 \text{ kW}$	$\cos \varphi_1 = 0,9$	$l_1 = 3 \text{ km}$
$P_2 = 500 \text{ kW}$	$\cos \varphi_2 = 0,92$	$l_2 = 3,5 \text{ km}$
$P_3 = 150 \text{ kW}$	$\cos \varphi_3 = 0,95$	$l_3 = 4 \text{ km}$
$P_4 = 340 \text{ kW}$	$\cos \varphi_4 = 0,95$	$l_4 = 2 \text{ km}$
$P_5 = 160 \text{ kW}$	$\cos \varphi_5 = 0,93$	$l_5 = 3 \text{ km}$
$P_6 = 300 \text{ kW}$	$\cos \varphi_6 = 0,91$	$l_6 = 1 \text{ km}$
$P_{OZE} = 1,1 \text{ kW}$	$\cos \varphi_7 = 1$	$l_7 = 1 \text{ km}$
$P_8 = 450 \text{ kW}$	$\cos \varphi_8 = 0,95$	$l_8 = 1,5 \text{ km}$
$P_9 = 190 \text{ kW}$	$\cos \varphi_9 = 0,94$	$l_9 = 2,5 \text{ km}$
$P_{10} = 700 \text{ kW}$	$\cos \varphi_{10} = 0,96$	$l_{10} = 3 \text{ km}$
		$l_{11} = 1,5 \text{ km}$

6.2. Vedení napájeno z T1

6.2.1. Výpočet vedení bez připojeného OZE



Obr. 11 Schéma bez připojeného OZE (T1)

Podle vztahu (6.1) a (6.2) vypočtu činnou a jalovou složku proudu pro každý odběr.

$$I_{\check{x}} = \frac{P_x}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6.1)$$

$$I_{jx} = I_{\check{x}} \cdot \tan \varphi \quad (6.2)$$

$$I_{\check{1}} = \frac{230 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 6,04 \text{ A} \quad (6.3)$$

$$I_{j1} = 6,04 \cdot \tan(25,84^\circ) = 2,92 \text{ A} \quad (6.4)$$

$I_{\xi 1}$	6,04 A	I_{j1}	2,92 A
$I_{\xi 2}$	13,12 A	I_{j2}	5,59 A
$I_{\xi 3}$	3,94 A	I_{j3}	1,29 A
$I_{\xi 4}$	8,92 A	I_{j4}	2,93 A
$I_{\xi 5}$	4,20 A	I_{j5}	1,66 A
$I_{\xi 6}$	7,87 A	I_{j6}	3,59 A
$I_{\xi 7}$	0,00 A	I_{j7}	0,00 A
$I_{\xi 8}$	11,81 A	I_{j8}	3,88 A
$I_{\xi 9}$	4,99 A	I_{j9}	1,81 A
$I_{\xi 10}$	18,37 A	I_{j10}	5,36 A

Tab. 4 Činné a jalové proudy bez OZE (T1)

Z proudů jednotlivých odběrů vypočtu proudy tekoucí jednotlivými vzdálenostmi mezi odběry:

I	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
I_{ξ} [A]	79,26	73,22	60,1	56,16	47,24	43,04	35,17	35,17	23,36	18,37
I_j [A]	29,03j	26,11j	20,52j	19,23j	16,3j	14,64j	11,05j	11,05j	7,17j	5,36j

Tab. 5 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky bez OZE (T1)

Abych mohl vypočítat úbytek napětí, je zapotřebí u každé vzdálenosti určit reaktanci a odpor. Podle katalogových hodnot pro kabel AlFe₆ je $R_v = 0,301 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ a $X_v = 0,35 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, výpočet je proveden dle vztahů (6.5) a (6.6).

$$R_x = R_v \cdot l_x \quad (6.5)$$

$$X_x = X_v \cdot l_x \quad (6.6)$$

$$R_1 = R_v \cdot l_1 = 0,301 \cdot 3 = 0,903 \Omega \quad (6.7)$$

$$X_1 = X_v \cdot l_1 = 0,35 \cdot 3 = 1,05 \Omega \quad (6.8)$$

I	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
$R_i \Omega$	0,903	1,054	1,204	0,602	0,903	0,301	0,301	0,452	0,753	0,903
$X_i \Omega$	1,05	1,225	1,4	0,7	1,05	0,35	0,35	0,525	0,875	1,05

Tab. 6 Vypočtené R a X pro jednotlivé vzdálenosti (T1)

Z vypočítaných hodnot reaktancí a odporů, které jsou uvedeny v Tab. 6, jsem pro jednotlivé úseky vypočetl úbytky napětí. Dosazením do vzorce (6.9) vypočtu jednotlivé úbytky napětí.

$$\Delta U_x = R_x \cdot I_{\check{c}x} + X_x \cdot I_{jx} \quad (6.9)$$

$$\Delta U_1 = R_1 \cdot I_{\check{c}1} + X_1 \cdot I_{j1} = 0,903 \cdot 79,26 + 1,05 \cdot 29,05 = 83,95 \text{ V} \quad (6.10)$$

I	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀
ΔU (V)	102,05	109,12	101,09	47,27	59,77	18,08	14,45	21,68	30,63	22,22

Tab. 7 Úbytky napětí bez OZE (T1)

Celkový úbytek napětí je vypočten ze součtu všech úbytků napětí (6.11) vypočtených z Tab. 7.

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{celková_bez_OZE}} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \\ + \Delta U_8 + \Delta U_9 + \Delta U_{10} \end{aligned} \quad (6.11)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{celková_bez_OZE}} = 102,05 + 109,12 + 101,09 + 47,27 + 59,77 + \\ + 18,08 + 14,45 + 21,68 + 30,63 + 22,22 = 526,36 \text{ V} \end{aligned} \quad (6.12)$$

Pro porovnání, zda úbytek napětí souhlasí se sítí v hladině 22 kV, vypočtu dovolený úbytek napětí, který má pro síť 22 kV hodnotu 5 %.

$$\Delta U_{\text{dov}} = \frac{5}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{5}{100} \cdot \frac{22000}{\sqrt{3}} = 635,09 \text{ V} \quad (6.13)$$

Dle vztahu (6.13) je dovolený úbytek napětí v síti 635,09 V. Úbytek napětí v mé početní síti bez připojeného OZE napájeného z T1 vyšel 526,36 V, tedy mnou vypočtený úbytek napětí nepřekračuje dovolený úbytek napětí.

Na následující výpočet je důležité nahlížet z hlediska připojitelnosti zdroje k síti, tedy vypočítat úbytek napětí v místě připojení OZE, nazvu si tedy tento uzel písmenem A. Výpočet je ve vzorci (6.14) dosazení a výsledek je ve vzorci (6.15).

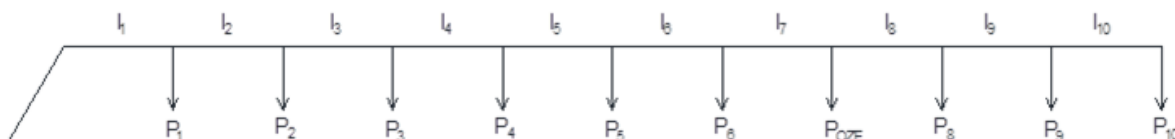
$$\Delta U_{A_bez_OZE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 \quad (6.14)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{A_bez_OZE} = 102,05 + 109,12 + 101,09 + 47,27 + \\ + 59,77 + 18,08 + 14,45 = 451,84 \text{ V} \end{aligned} \quad (6.15)$$

Abych si ověřil, zda je možné připojit OZE k síti, je zapotřebí vypočítat hodnotu napětí v místě připojení OZE. Z úbytku napětí k místu připojení vypočteme hodnotu napětí ze vzorce (6.16)

$$\Delta U_{A_{\text{celková_bez_OZE}}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{A_{\text{bez_OZE}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 451,84 = 12249,87 \text{ V} \quad (6.16)$$

6.2.2. Výpočet vedení s připojeným OZE



Obr. 12 Schéma s připojeným OZE (T1)

Výpočet je v podstatě stejný jako bez připojeného OZE, jen se liší v připojeném zdroji. Ten bude mít opačný směr proudu a jen činnou složku, kterou dodává do sítě a jeho účinník je roven jedné.

Výpočet činné a jalové složky bude stejný jako u připojení bez OZE, tedy vypočtené ze vztahů (6.1) a (6.2).

$I_{\epsilon 1}$	6,04 A	I_{j1}	2,92 A
$I_{\epsilon 2}$	13,12 A	I_{j2}	5,59 A
$I_{\epsilon 3}$	3,94 A	I_{j3}	1,29 A
$I_{\epsilon 4}$	8,92 A	I_{j4}	2,93 A
$I_{\epsilon 5}$	4,20 A	I_{j5}	1,66 A
$I_{\epsilon 6}$	7,87 A	I_{j6}	3,59 A
$I_{\epsilon 7}$	-28,87 A	I_{j7}	0,00 A
$I_{\epsilon 8}$	11,81 A	I_{j8}	3,88 A
$I_{\epsilon 9}$	4,99 A	I_{j9}	1,81 A
$I_{\epsilon 10}$	18,37 A	I_{j10}	5,36 A

Tab. 8 Činné a jalové proudy s připojeným OZE (T1)

Z proudů jednotlivých odběrů opět vypočtu proudy tekoucí jednotlivými vzdálenostmi mezi odběry:

I	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
$I_{\epsilon} [A]$	50,39	44,35	31,23	27,29	18,37	14,17	6,3	35,17	23,36	18,37
$I_j [A]$	29,03j	26,11j	20,52j	19,23j	16,3j	14,64j	11,05j	11,05j	7,17j	5,36j

Tab. 9 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky s OZE (T1)

Vypočtené reaktance a odpory se nemění, stále platí vypočtené hodnoty z Tab. 6. Z nich opět vypočítáme úbytky napětí pro jednotlivé vzdálenosti, dosadíme do vzorce (6.9).

l	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	l ₇	l ₈	l ₉	l ₁₀
ΔU (V)	75,98	78,71	66,33	29,89	33,7	9,39	5,76	21,68	23,85	22,22

Tab. 10 Úbytky napětí s připojeným OZE (T1)

Celkový úbytek napětí vypočteme součtem všech úbytků napětí z Tab. 10.

$$\Delta U_{\text{celková}_s\text{OZE}} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 + \Delta U_9 + \Delta U_{10} \quad (6.17)$$

$$\Delta U_{\text{celková}_s\text{OZE}} = 75,98 + 78,71 + 66,33 + 29,89 + 33,7 + 9,39 + 5,76 + 21,68 + 23,85 + 22,22 = 367,514 \text{ V} \quad (6.18)$$

Jelikož výsledný úbytek napětí při připojení OZE k síti vyšel nižší než při nepřipojeném OZE, můžeme posoudit, že dovolený úbytek napětí 5 % není překročen, a tedy splňuje podmínku pro síť v hladině 22 kV.

Pro připojitelnost zdroje je nutné vypočíst opět úbytek napětí k uzlu A, kde je OZE připojeno. Tedy dle vztahu (6.19).

$$\Delta U_{A_s\text{OZE}} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 \quad (6.19)$$

$$\Delta U_{A_s\text{OZE}} = 75,98 + 78,71 + 66,33 + 29,89 + 33,7 + 9,39 + 5,76 = 299,766 \text{ V} \quad (6.20)$$

Nyní vypočtu celkové napětí v místě připojení OZE k síti ze vztahu (6.21).

$$\Delta U_{A_{\text{celková}_s\text{OZE}}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{A_s\text{OZE}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 299,766 = 12401,94 \text{ V} \quad (6.21)$$

Nyní si ověřím, zda splňuje připojení pravidla pro připojitelnost. Výpočtem zjistím změnu napětí v síti vn a také zkontroluji, aby nedošlo k nepřekročení 2% nárůstu napětí mezi odpojením a připojením zdroje (6.22).

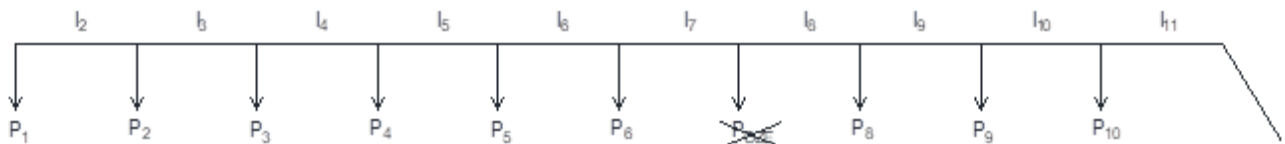
$$U_{\text{dov}} = \frac{\Delta U_{\text{Acelková}_\text{bez}_\text{OZE}}}{100} \cdot 102 = \frac{12249,87}{100} \cdot 102 = 12494,87 \text{ V} \quad (6.22)$$

Z této hodnoty napětí mohu konstatovat, že při připojení zdroje k síti činí hodnota napětí 12401,94 V a v porovnání s hodnotou před připojením a 2 % zvýšením na maximální dovolené napětí, můžeme zdroj připojit, jelikož splňuje podmínku připojitelnosti z pohledu napájení z T1.

6.3. Vedení napájeno z T2

V tomto případě budu počítat stejnou síť, avšak napájenou z druhé strany tedy, z T2. Výpočty budou obdobné jako při napájení z T1. Budeme to brát jako zdroj při poruše či výpadku T1 a zdali je možné provozovat OZE i při napájení z T2, abychom zachovali bezporuchovost sítě.

6.3.1. Výpočet vedení bez OZE



Tab. 11 Schéma bez připojeného OZE (T2)

Hodnoty proudů pro jednotlivé odběry jsou stejné, jako při napájení z T1:

$$I_{\check{x}} = \frac{P_x}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6.23)$$

$$I_{jx} = I_{\check{x}} \cdot \tan \varphi \quad (6.24)$$

$$I_{\check{1}} = \frac{230 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 6,04 \text{ A} \quad (6.25)$$

$$I_{j1} = 6,04 \cdot \tan(25,84^\circ) = 2,92 \text{ A} \quad (6.26)$$

$I_{\check{1}}$	6,04 A	I_{j1}	2,92 A
$I_{\check{2}}$	13,12 A	I_{j2}	5,59 A
$I_{\check{3}}$	3,94 A	I_{j3}	1,29 A
$I_{\check{4}}$	8,92 A	I_{j4}	2,93 A
$I_{\check{5}}$	4,20 A	I_{j5}	1,66 A
$I_{\check{6}}$	7,87 A	I_{j6}	3,59 A
$I_{\check{7}}$	0,00 A	I_{j7}	0,00 A
$I_{\check{8}}$	11,81 A	I_{j8}	3,88 A
$I_{\check{9}}$	4,99 A	I_{j9}	1,81 A
$I_{\check{10}}$	18,37 A	I_{j10}	5,36 A

Tab. 12 Činné a jalové proudy bez OZE (T2)

Z proudů jednotlivých odběrů opět vypočtu proudy tekoucí jednotlivými vzdálenostmi mezi odběry:

I	I ₁₁	I ₁₀	I ₉	I ₈	I ₇	I ₆	I ₅	I ₄	I ₃	I ₂
I _č [A]	79,26	60,89	55,9	44,09	44,09	36,22	32,02	23,1	19,16	6,04
I _j [A]	29,03	23,67	21,86	17,98	17,98	14,39	12,73	9,8	8,51	2,92

Tab. 13 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky bez OZE (T2)

Jako v případě napájení z T1 i zde musím vypočítat jednotlivé reaktance a odpory dle vzdáleností mezi odběrateli.

$$R_x = R_v \cdot l_x \quad (6.27)$$

$$X_x = X_v \cdot l_x \quad (6.28)$$

$$R_{11} = R_v \cdot l_{11} = 0,301 \cdot 1,5 = 0,452 \, \Omega \quad (6.29)$$

$$X_{11} = X_v \cdot l_{11} = 0,35 \cdot 1,5 = 0,525 \, \Omega \quad (6.30)$$

I	I ₁₁	I ₁₀	I ₉	I ₈	I ₇	I ₆	I ₅	I ₄	I ₃	I ₂
R _i Ω	0,452	0,903	0,753	0,452	0,301	0,301	0,903	0,602	0,301	1,054
X _i Ω	0,525	1,05	0,875	0,525	0,35	0,35	1,05	0,7	0,35	1,225

Tab. 14 Vypočtené R a X pro jednotlivé vzdálenosti (T2)

Z vypočítaných hodnot reaktancí a odporů, které jsou uvedeny v Tab. 14, vypočtu stejně jako při napájení z T1 pro jednotlivé úseky úbytky napětí. Dosazením do vzorce (6.31) vypočtu jednotlivé úbytky napětí.

$$\Delta U_x = R_x \cdot I_{\check{c}x} + X_x \cdot I_{jx} \quad (6.31)$$

$$\Delta U_{11} = R_{11} \cdot I_{\check{c}11} + X_{11} \cdot I_{j11} = 0,903 \cdot 50,39 + 1,05 \cdot 29,03 = 83,95 \, V \quad (6.32)$$

I	I ₁₁	I ₁₀	I ₉	I ₈	I ₇	I ₆	I ₅	I ₄	I ₃	I ₂
ΔU (V)	51,03	79,84	61,19	29,35	19,56	15,94	42,28	20,77	9,93	22,93

Tab. 15 Úbytky napětí bez OZE (T2)

Z vypočtené Tab. 15 vypočítám celkový úbytek napětí, dle vzorce:

$$\Delta U_{\text{celková_bez_OZE}} = \Delta U_{11} + \Delta U_{10} + \Delta U_9 + \Delta U_8 + \Delta U_7 + \Delta U_6 + \Delta U_5 + \Delta U_4 + \Delta U_3 + \Delta U_2 \quad (6.33)$$

$$\Delta U_{\text{celková_bez_OZE}} = 51,03 + 79,84 + 61,19 + 29,35 + 19,56 + 15,94 + 42,28 + 20,77 + 9,93 + 22,93 = 352,813 \text{ V} \quad (6.34)$$

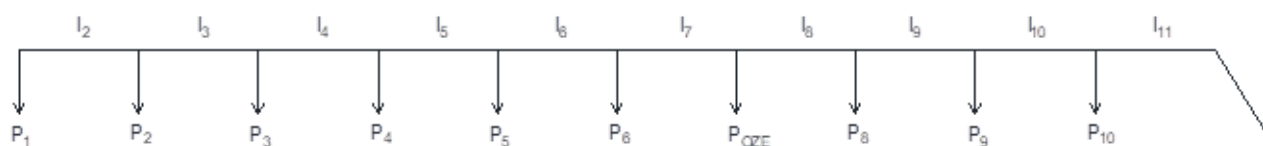
Dovolený úbytek napětí pro 22 kV je stejný jako pro napájení z T1. V porovnání s vypočítaným úbytkem napětí ze vzorce (6.34) je úbytek napětí v povolené toleranci. Opět musím spočítat úbytek napětí v místě připojení OZE (6.35) a poté vypočítat celkové napětí v místě připojení v uzlu A (6.37).

$$\Delta U_{\text{A_bez_OZE}} = \Delta U_{11} + \Delta U_{10} + \Delta U_9 + \Delta U_8 \quad (6.35)$$

$$\Delta U_{\text{A_bez_OZE}} = 51,03 + 79,84 + 61,19 + 29,35 = 221,402 \text{ V} \quad (6.36)$$

$$\Delta U_{\text{A_celková_bez_OZE}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{\text{A_bez_OZE}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 221,402 = 12480,304 \text{ V} \quad (6.37)$$

6.3.2. Výpočet vedení s připojeným OZE



Obr. 13 Schéma s připojeným OZE (T2)

Proudy činné a jalové jsou stejné, krom odběru s připojeným OZE, opět počítáno, dle vztahů (6.23) a (6.24).

$I_{\epsilon 1}$	6,04 A	I_{j1}	2,92 A
$I_{\epsilon 2}$	13,12 A	I_{j2}	5,59 A
$I_{\epsilon 3}$	3,94 A	I_{j3}	1,29 A
$I_{\epsilon 4}$	8,92 A	I_{j4}	2,93 A
$I_{\epsilon 5}$	4,20 A	I_{j5}	1,66 A
$I_{\epsilon 6}$	7,87 A	I_{j6}	3,59 A
$I_{\epsilon 7}$	-28,87 A	I_{j7}	0,00 A
$I_{\epsilon 8}$	11,81 A	I_{j8}	3,88 A
$I_{\epsilon 9}$	4,99 A	I_{j9}	1,81 A
$I_{\epsilon 10}$	18,37 A	I_{j10}	5,36 A

Tab. 16 Činné a jalové proudy s připojeným OZE (T2)

Z jednotlivých odběrů vypočtu průtok proudů jednotlivými vzdálenostmi:

I	I_{11}	I_{10}	I_9	I_8	I_7	I_6	I_5	I_4	I_3	I_2
I_{ϵ} [A]	50,39	32,02	27,03	15,22	44,09	36,22	32,02	23,1	19,16	6,04
I_j [A]	29,03	23,67	21,86	17,98	17,98	14,39	12,73	9,8	8,51	2,92

Tab. 17 Vypočtené proudy tekoucí jednotlivými úseky s OZE (T2)

Reaktance a odpory jsou stejné jako v Tab. 14, z nich vypočtu úbytky napětí pro jednotlivé úseky.

$$\Delta U_x = R_x \cdot I_{\epsilon x} + X_x \cdot I_{jx} \quad (6.38)$$

$$\Delta U_{11} = R_{11} \cdot I_{\epsilon 11} + X_{11} \cdot I_{j11} = 0,903 \cdot 50,39 + 1,05 \cdot 29,03 = 83,95 \text{ V} \quad (6.39)$$

I	I_{11}	I_{10}	I_9	I_8	I_7	I_6	I_5	I_4	I_3	I_2
ΔU (V)	37,99	53,77	39,47	16,31	19,56	15,94	42,28	20,77	8,75	9,94

Tab. 18 Úbytek napětí s OZE (T2)

Celkový úbytek napětí je vypočten ze vztahu (6.40).

$$\Delta U_{\text{celková}_s\text{OZE}} = \Delta U_{11} + \Delta U_{10} + \Delta U_9 + \Delta U_8 + \Delta U_7 + \Delta U_6 + \Delta U_5 + \Delta U_4 + \Delta U_3 + \Delta U_2 \quad (6.40)$$

$$\Delta U_{\text{celková}_s\text{OZE}} = 37,99 + 53,77 + 39,47 + 16,31 + 19,56 + 15,94 + 42,28 + 20,77 + 8,75 + 9,94 = 264,774 \text{ V} \quad (6.41)$$

Pro správné připojení musím opět vypočíst úbytek napětí v místě připojení a následné spočítat celkové napětí v místě připojení.

$$\Delta U_{A_s\text{OZE}} = \Delta U_{11} + \Delta U_{10} + \Delta U_9 + \Delta U_8 \quad (6.42)$$

$$\Delta U_{A_s\text{OZE}} = 37,99 + 53,77 + 39,47 + 16,31 = 147,538 \text{ V} \quad (6.43)$$

$$\Delta U_{A_{\text{celková}_s\text{OZE}}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{A_s\text{OZE}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 147,538 = 12332,12 \text{ V} \quad (6.44)$$

Jako při napájení z T1 i zde si ověříme, zda splňuje tato vypočtená hodnota napětí pravidla pro připojitelnost, tedy zdali nepřekračuje 2 % v porovnání s úbytkem před připojením.

$$U_{\text{dov}} = \frac{\Delta U_{A_{\text{celková}_s\text{bez}_s\text{OZE}}}}{100} \cdot 102 = \frac{12480,304}{100} \cdot 102 = 12729,91 \text{ V} \quad (6.45)$$

Vypočtená hodnota maximálního dovoleného napětí je 12729,91 V a hodnota napětí po připojení činí v místě připojení 12332,12 V, čímž splňuje limity připojitelnosti k síti.

6.3.3. Posouzení připojitelnosti OZE do sítě

Pokud by se jednalo o fotovoltaické panely, tak u těchto zdrojů dochází k velkým změnám napětí kvůli počasí. Jelikož však většinou tyto elektrárny dodají energii přímo na místě spotřeby, nedochází k velkému ovlivnění sítě. Avšak problém může nastat, pokud energie není spotřebována hned na místě, v takovém případě by docházelo k toku energie do sítě. Díky tomu může docházet k velkým napěťovým změnám a musí se dbát na hodnotu vyšších harmonických a hodnotu míru vjemu flikru ($P_{lt} \leq 0,46$).

Výhodou větrných elektráren oproti slunečním je, že vítr proudí i během noci, tím pádem získáváme energii i v noci. Hojně se tedy využívá předpovědí, které jsou docela přesné. Jelikož má větrná elektrárna synchronní generátor, je třeba pro dodržení podmínky připojení zvolit správné synchronizační zařízení. Co se týče hodnoty flikru, je ovlivněn poryvem větrů a hodnota musí být nižší než 0,46. Při zkratu může dojít až ke ztrátě stability soustavy, tím pádem je důležitým příspěvkem synchronního generátoru ke zkratovým poměrům. Nesmí dojít k útlumu signálu HDO, pod požadovanou hodnotu, což je 10 až 20 %. Pokud by byly překročeny limity, je zapotřebí použít podpůrnou impedanci, díky čemuž se zrovnoměrní impedanční hodnoty a zlepší se signál. Apel se musí dát na proudy vyšších harmonických, vznikají u střídačů a měničů kmitočtu. Tyto hodnoty udává výrobce, udává se v dnešní době 5 %.

7. Závěr

V úvodu práce je popsána elektrizační síť a její části, tedy distribuční a přenosová soustava. Popsal jsem základní zapojení sítě z hlediska vedení. Nejobsáhlejší část práce je především o obnovitelných zdrojích, jejich funkci a principu užití. Popsal jsem přeměnu energie ze Slunce pomocí fotovoltaických článků, dále větrné elektrárny, které se využívají především ve velkých větrných farmách, jelikož se tím zvyšuje jejich účinnost. Jsou popsány také vodní elektrárny, které u nás nemají vhodné podmínky. Nicméně se využívají přečerpávací elektrárny, protože jsou vhodné jako doplnění během špičkového zatížení sítě. Důvodem pro jejich využití je regulace a jejich rychlý náběh na vysoký výkon. V neposlední řadě je popsáno spalování biomasy, což je nejstarší přeměna energie v lidských dějinách a vracíme se k ní, jelikož je všude dostupná a je nenáročná na životní prostředí. Při připojení k síti dochází k nežádoucím vlivům, tedy zpětným vlivům, které mají neblahý vliv na funkci sítě a zařízení. Jako zpětné vlivy rozumíme změnu napětí, flickr, ovlivnění HDO signálu a vyšší harmonické. Všechny tyto zpětné vlivy jsou definovány normami, které jsou popsány v limitech připojitelnosti.

V praktické části jsem měl za úkol posoudit připojení zdroje k síti. Cílem praktické části bylo také ověřit, zda zadaný zdroj je možné připojit k síti, aniž by byla porušena pravidla provozu distribuční sítě udávané distributorem. Zdroj jsem zvolil o výkonu 1,1 MW s účinností 1. Síť je možné napájet ze dvou stran buď z transformátoru T1, nebo transformátoru T2. Jako primární zdroj k této síti je zvolen T1, pokud by však došlo k poruše či výpadku primárního zdroje napájení, je zde zásobování z T2. Proto je nutné pro takovou síť vypočítat připojitelnost jak pro primární transformátor T1, tak pro transformátor T2. Nejdříve jsem pro každou část vypočetl činné a jalové proudy bez a s připojeným OZE. Z těchto hodnot jsem vypočetl jednotlivé průtoky proudů pro vzdálenosti mezi odběry. Pro výpočet úbytků napětí bylo zapotřebí dle katalogových hodnot vypočítat k jednotlivým vzdálenostem odpor a reaktanci dle zvoleného kabelu AlFe₆. Celkový úbytek napětí vedení jsem spočetl pro všechny 4 stavy vedení, tedy pro vedení bez připojení a s připojením a pro obě strany napájení. Úbytky napětí vyšly menší než dovolený úbytek napětí. A navíc při připojení zdroje k síti se u obou případů úbytek napětí ještě snížil. Nakonec bylo třeba u každé části vypočítat celkovou hodnotu napětí v místě připojení. Připojitelnost je možná jen pokud napětí po připojení OZE nepřevyšuje 2 % hodnotu napětí před připojením. V obou případech jsem ověřil, že hodnota napětí není vyšší, než před připojením z toho mohu vyvozovat, že OZE se může připojit k síti.

8. Citace

- [1] Česká přenosová a distribuční soustava - 1. díl: Elektrifikace a princip funkce. *Oenergetice.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-1-dil-elektrifikace-a-princip-funkce>
- [2] *Druhy elektrického silnoprůdého rozvodu* [online]. [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035-druhy-elektrického-silnoprudeho-rozvodu>
- [3] Bezpečnost fotovoltaiky. *Tzbinfo* [online]. 2013 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/10134-bezpecnost-fotovoltaiky>
- [4] FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELY. *SVĚT ENERGIE* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/sluncni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>
- [5] VŠE O FOTOVOLTAICE. *DEKSOLAR* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://deksolar.cz/vse-o-fotovoltaice/>
- [6] Víte, jak funguje větrná elektrárna? *Proelektrotechniky.cz* [online]. 2013 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/4.php>
- [7] Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [8] Větrné elektrárny v ČR. *ČSVE* [online]. 2019 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://csve.cz/cz/clanky/statistika/281>
- [9] Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. 2016 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>
- [10] O VODNÍ ENERGETICE. *SKUPINA ČEZ* [online]. [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice>
- [11] Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [12] Přepětí. *ProfiElektrika.cz* [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-05-23.7953032978>
- [13] Přepětí a podpětí. *Top-pojisteni* [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.top-pojisteni.cz/pojistovaci-poradna/slovník-pojmu/prepeti-a-podpeti>
- [14] Rychlé změny napětí. *Elektroprumysl* [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/rychle-zmeny-napeti>
- [15] HDO – smart grid fungující již půl století. *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/hdo-smart-grid-fungujici-jiz-pul-stoleti>

- [16] Průběh zkratového proudu v síti nn. *ProfiElektrika.cz* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/prubeh-zkratoveho-proudu-v-siti-nn>
- [17] Zkrat v elektrických sítích. *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/zkrat-v-elektrickych-sitich>
- [18] *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY 2021* [online]. 2021 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/pravidla-provozovani-distribucni-soustavy-2021>